

京都大学大学院 学生員 大森啓至
 京都大学工学部 正 員 丹羽義次
 京都大学工学部 正 員 小林昭一

1. はじめに

構造物および材料内の欠陥から発生する弾性波である Acoustic Emission (AE と略す) を検出することにより、その破壊源を探査する AE 法は、原理的には地震における source location と同じものであり、最近、金属分野において、圧力容器および溶接部などの内部欠陥探査に用いられ、注目を浴びている。また、岩石について Scholz や茂木による破壊源探査の報告がなされているが、この方法が、複合材料から成る土木構造物についても、その安全性評価としての非破壊検査に用いられる可能性を検討する意味において、鉄筋コンクリートばりを対象として、破壊過程における破壊源探査の実験を行なった。

2. 破壊源探査の手法

AE 波にも P 波と S 波があり、この点においては地震波と同様であることから、破壊源の位置を決定するについて、まず、P 波と S 波の到着時間差から求めることが考えられる。しかし、AE 波の波形から正確にこれを読みとることが困難なために、一般に多点から AE 波を検出し、その P 波の到着時間差から最小自乗近似を行なって決定する方法がとられている。本実験では、三次元的に破壊源の位置を決定するのに必要な最低数であり 4 点について、AE 波の検出を行ない、Fig 1 に示すように、

A、B、C、D の各点にピックアップを配置した。

座標軸を図中のようにとると、各点の座標は、

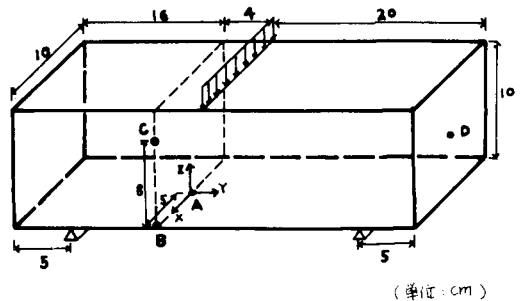
A(0, 0, 0)、B(5, 0, 0)、C(5, 0, 8)、D(0, 24, 5) と

なり、右に示したように到着時間差に関する 3 つの無理

方程式が得られる。これから直接解くことができないので、A 点と D 点との到着時間差から一次元的に XZ 面と仮定しては、時間差を逆算し、測定時間差に等しいものを捜す反復法によった。

3. 測定装置

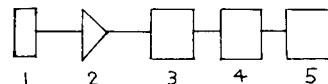
Fig 2 は、AE 測定装置のブロックダイアグラムである。この装置により、60dB 増幅し、10kHz ~ 300kHz の周波数帯の AE 波を検出した。ウェーブメモリーは、アナログ入力量をデジタル量として記憶する装置で、そのサンプリング間隔は 1 μsec で行なったが、これによつて分解可能な周波数は数 100 kHz であると考えられる。なお金属分野で行なわれているコンピューター処理によるシステムでは、一定感度以下の信号を受けつけないようにするスレッシホールドレベルを設定しているが、これに起因する時間的遅れを避けるために、本実験では Fig 3 に示すような実際の AE 波形から到着時間差を読みとることをめざした。



$$\begin{cases} \sqrt{(x-5)^2 + y^2 + z^2} - \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} = \Delta t_{BA} v_p \\ \sqrt{(x-5)^2 + y^2 + (z-8)^2} - \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} = \Delta t_{CA} v_p \\ \sqrt{x^2 + (y-24)^2 + (z-5)^2} - \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} = \Delta t_{DA} v_p \end{cases}$$

v_p : P 波速度 Δt_{BA} : A 点と B 点の到着時間差

Fig 1 ピックアップの配置と到着時間差式



- | | |
|-----------|-------------|
| 1. ピックアップ | 4. ウェーブメモリー |
| 2. プリアンプ | 5. ペンレコーダー |
| 3. メインアンプ | |

Fig 2. AE 測定装置ブロックダイアグラム

4. 実験概要

供試体は $10 \times 10 \times 40$ (cm) の単鉄筋コンクリートはりであり中央載荷による曲げ試験を行なった。なお、予備実験から、この供試体の P 波速度が 4300 m/sec と測定された。荷重は 0 から徐々に上げて行き、微小破壊が頻発する段階では一定値に保ちながら、AE 波形を記録し、表面に明瞭なフラックが生じる程度までを目標に 1460 kg まで上げた。この間に 90 点の微小破壊による AE 波形を検出したが、最初に表面のフラックを発見したのは 1260 kg のときであった。

5. 結果及び考察

Fig 4 は、破壊源の位置を決定できた 47 点について、平面図、立面図、側面図に、5 段階に分けてプロットしたものである。これを見ると明らかなように、従来の曲げ試験の破壊のパターンに非常によく対応していることがわかる。また、その破壊源が鉄筋との付着部にだけに限られていないこと、及び荷重レベルが上がると、最初ランダムに分布していた破壊源が次第に内部へそして上方へのびていく傾向から、内部フラックの発達を正確に表現しているものと思われる。さらに表面でフラックの確認できた位置について見ても、それに対応するような破壊源の集中が表面付近に存在しており、探査の信頼性を裏づけるものと言える。今回の実験において決定された破壊源の位置は、ピックアップの径が 7 mm であること、P 波速度を鉄筋とコンクリートの複合物として定め、終始一定値と仮定したこと、及び $1 \mu \text{ sec}$ 間隔のサンプリングから到着時間差を読みとったことなどによる制約から、およそ 5 mm 程度の誤差があると考えられる。これは、この供試体に限っては、大きいかもしれないが、こうした誤差は供試体のサイズに影響されないもので、より大きな供試体及び実際の構造物に対しては、内部欠陥の正確な位置を探査できると言える。

6. おわりに

以上のことから、土木構造物についても、非破壊検査法として AE 法を適用できる可能性が高く、その信頼性も大きいことが確かめられた。さらに、鉄筋コンクリート構造などにおいて表面フラックだけでなく、その健全度を判定することは、この実験で確認できたように破壊が内部でより進行していることからしても、十分なものでなく、AE による探査のもつ意味は大きいと言える。

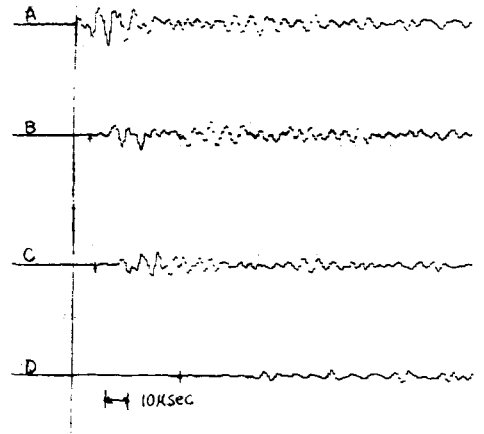


Fig 3. 4 点で検出した AE 波形の 1 例

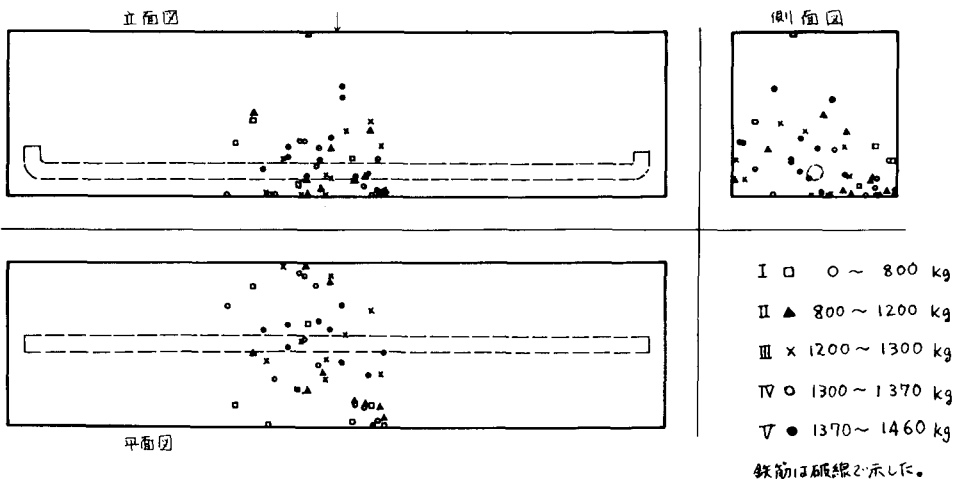


Fig 4. 破壊源の位置